



## مقاله پژوهشی

## بررسی امکان تشخیص انواع قند محلول با استفاده از یک حسگر تشدیدگر دی الکتریک

فریده کیوانی هفشجانی<sup>۱</sup>، مجتبی نادری بلداجی<sup>۲\*</sup>، مهدی قاسمی ورنامخواستی<sup>۲</sup>، زهرا ایزدی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۳. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

## چکیده

یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده اغلب مواد غذایی قندها می‌باشند که تشخیص انواع آن در مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه، یک حسگر تشدیدگر استوانه‌ای دی الکتریک با استفاده از یک دستگاه مولد تابع و تحلیل‌گر طیف برای استخراج طیف‌های دی الکتریک در محدوده فرکانس ۱۵۰-۰ مگاهرتز برای تشخیص انواع قند به شکل محلول در آب استفاده شد. طیف‌های دی الکتریک با تهیه انواعی از محلول آب- قند شامل گلوکز، ساکاروز، فروکتوز، اینورت، شربت غنی از فروکتوز و عصاره مالت جو (قند غالب مالتوز)، در سطوح بریکس بین ۱۲-۳ اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌هایی نیز به شکل محلول قندهای ترکیبی مورد آزمون قرار گرفت. روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای امکان تشخیص و تفکیک انواع قند در نمونه‌ها از داده‌های طیفی دی الکتریک مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه‌ی اصلی PC1 و PC2، قابلیت تشخیص انواع قندهای مستقل در سه دسته متمایز شامل ساکاروز و شربت ذرت غنی از فروکتوز، فروکتوز و قند اینورت، گلوکز و مالت را نشان داد. صرف نظر از قند گلوکز، قندهای مستقل و ترکیبی تقریباً در دو دسته متفاوت تشخیص داده شد. نتایج حاصل پتانسیل نسبتاً خوبی از روش دی الکتریک برای تشخیص انواع قند را نشان داد، با این حال اثر تجمعی دی الکتریک قندها در ترکیب با هم در محدوده فرکانسی مورد آزمون قابل تفکیک نبود که انتظار می‌رود با محدوده‌های فرکانسی بزرگ‌تر بتوان نتایج قابل قبول‌تری از آن به دست آورد.

کلید واژه‌ها: قند، حسگر استوانه‌ای، طیف‌نگاری توان دی الکتریک.

## ۱. مقدمه

شاخص موجود در نوشیدنی‌های مالت در دو گروه کلاسیک و طعم‌دار با روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا پرداختند. در این مطالعه ۴۵ نمونه نوشیدنی مالت شامل ۱۵ نمونه کلاسیک، ۱۵ نمونه با طعم لیمو و ۱۵ نمونه با طعم سیب به طور تصادفی مورد اندازه‌گیری و تحلیل آماری قرار گرفتند. در این بررسی‌ها میزان دقیق غلظت فروکتوز، گلوکز، ساکاروز، و مالتوز به دست آمد که نشان داد غلظت قند مالتوز در نمونه‌های نوشیدنی‌های مالت کلاسیک و طعم‌دار تفاوت معنی‌داری نداشت ولی بین غلظت قندهای دیگر بین نمونه نوشیدنی‌های مالت کلاسیک و طعم‌دار تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده شد.

باقرزاده و منظری توکلی [۱] به شناسایی دو نوع قند در ضایعات زعفران با استفاده از کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی پرداختند. استخراج عصاره از گلبرگ و پرچم گیاه زعفران با روش خیساندن و با استفاده از امواج فراصوت با سه حلال آب، اتانول و متانول انجام شد. در ادامه این بررسی حضور کربوهیدرات‌ها با چندین روش به اثبات رسید و حضور دو قند D-آلوز و لوگلوکوسان در ضایعات زعفران برای اولین بار تأیید شد.

رجلاخشی و همکاران [۴] در مطالعه‌ای به شناسایی انواع قندهای گلوکز، ساکاروز و فروکتوز در عسل با استفاده از طیف‌سنجی NIR در محدوده ۲۵۰۰-۷۰۰ نانومتر پرداختند. عسل حاوی میانگین ترکیب فروکتوز (۳۸٪)، گلوکز (۲۸٪)، مالتوز (۷٪)، ساکاروز (۴٪)، قندهای دیگر (۶٪)، آب (۱۷٪) و برخی مواد دیگر می‌باشد. مناطق طیف جذبی گلوکز، فروکتوز، ساکاروز و رطوبت محتوا در نمونه عسل از مطالعات پیشین مورد بررسی قرار گرفت و با طیف‌های گرفته شده از نمونه‌های عسل در محدوده ۲۵۰۰-۷۰۰ نانومتر مطابقت داده شد. با این روش غلظت گلوکز، ساکاروز و فروکتوز در محدوده‌هایی که نمونه عسل جذب بیشتر دارند تخمین زده شد.

در مطالعه‌ای لی و همکاران [۶] به تشخیص شکر با روش تراهرتز در محدوده فرکانسی ۵-۰/۵ THz پرداختند که نتایج حاصل نشان داد که این ابزار سنجش، انواع مختلف مولکول‌های کربوهیدرات را نسبت به غلظت‌های مولکولی تشخیص می‌دهد. امواج تقویت شده توسط آنتن‌های تراهرتز

تنوع نوشیدنی‌های غذایی در دهه‌های اخیر مصرف آن در جامعه را به طور چشمگیری افزایش داده است. همین امر باعث انگیزه‌های تقلب در استفاده از قندهای ارزان‌تر یا قندهای غیرمجاز در تولید نوشیدنی‌ها شده است. برای مثال در تولید نوشیدنی‌های مالت جو، شیرینی موجود در نوشیدنی باید حتی‌الامکان از مالت جو طبیعی حاصل شود که اساساً فاقد ساکاروز است. در حالی که تولید کنندگان ممکن است بخشی از این شیرینی را با استفاده از قند ساکاروز و یا قندهای دیگر تأمین نمایند که این امر می‌تواند سلامت مصرف کننده را تهدید نماید. طبق آمار غیررسمی موجود (مذاکرات شفاهی با صنایع تولید مالت جو)، در ایران سالانه حدود ۶۰۰ میلیون لیتر انواع نوشیدنی‌های مالت تولید می‌شود. مطابق با استاندارد ملی ایران، شماره ۲۲۷۹ و در صورتی که حداقل ۴/۵ درجه بریکس نوشیدنی‌ها از مالت جو حاصل شده باشد، برآورد می‌شود که میزان نیاز صنایع تولیدی نوشیدنی به مالت جو حدود ۶۰-۵۰ هزار تن در سال باشد. این در حالی است که تولید مالت جو در کشور تنها توسط معدود کارخانه‌هایی انجام می‌شود که مجموع تولید آنها حدود ۱۰ هزار تن در سال می‌باشد. این آمار به خوبی نشان می‌دهد که استفاده از شیرین کننده‌های غیرطبیعی و غیرمجاز در صنایع نوشیدنی‌های مالت گسترده است. روش‌های آزمایشگاهی و ابزاری متعددی تاکنون برای تشخیص انواع قند در نوشیدنی‌ها و مواد غذایی توسعه و آزمون شده اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تجزیه دستگاهی GC-MASS (کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی) [۱]، روش تجزیه دستگاهی کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) [۲ و ۳]، طیف‌سنجی نزدیک فروسرخ (NIR) [۴ - ۵] و امواج تراهرتز [۶] اشاره نمود. روش‌های تجزیه دستگاهی مانند GC-MASS و HPLC از جمله دقیق‌ترین روش‌ها بوده ولی گران قیمت و زمان‌بر بوده که ضمن نیاز به کاربر متخصص به راحتی نیز در دسترس نمی‌باشد. همچنین فناوری‌های طیف‌سنجی NIR و تراهرتز نیز از جمله روش‌های گران قیمت با محدودیت فناوری در کشور می‌باشد.

اکبری آدرگانی و همکاران [۲] به ارزیابی کربوهیدرات‌های

(رابطه ۱) بیان می‌شود. مشخصه‌های دی‌الکتریک ماده شامل ضریب دی‌الکتریک  $\epsilon'$  (بخش حقیقی عبارت مختلط) و فاکتور افت  $\epsilon''$  (بخش موهومی عبارت مختلط) می‌باشد که به ترتیب بیانگر میزان انرژی ذخیره شده در مولکول‌های ماده و انرژی تلف شده به صورت حرارت در معرض میدان الکتریکی می‌باشند. مکانیزم‌های جذب انرژی شامل هم‌راستایی دو قطبی‌های آزاد درون ماده با میدان الکتریکی (پلاریزاسیون)، قطبیت الکترونیکی و قطبیت اتمی و از اثرگذارترین مکانیزم‌های اتلاف انرژی هدایت یونی ماده می‌باشد.

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j \epsilon''_r \quad (1)$$

مطالعات متعددی تاکنون در خصوص استفاده از روش دی الکتریک برای تشخیص انواع قند و یا تقلب در مایعات و مواد غذایی گزارش شده است. خلیلیان و همکاران با توسعه یک حسگر دی الکتریک استوانه‌ای به اندازه‌گیری درجه بریکس شربت چغندر قند پرداختند [۸]. نتایج نشان داد که با افزایش دما و درجه بریکس شربت ضریب گذردهی دی-الکتریک کاهش یافت. در مطالعاتی دیگر، این حسگر برای تشخیص تقلب در شیر [۹]، شیر انگور [۱۰] و روغن کنجد [۱۱] مورد ارزیابی قرار گرفت.

نادری بلداجی و همکاران [۱۲]، با استفاده از طیف‌نگاری توان دی‌الکتریک با یک حسگر خازنی صفحه موازی در محدوده ۱ تا ۱۰ مگاهرتز روی ساقه نیشکر به صورت غیر مخرب نشان دادند که روش دی‌الکتریک یک روش توانمند و دقیق در اندازه‌گیری غیر مخرب محتوای رطوبت، مواد جامد محلول (درصد بریکس)، ساکاروز (درصد پل) و شاخص تجاری نیشکر می‌باشد.

جکسون و همکاران [۱۳] به تعیین ساکاروز موجود در آب نیشکر خام با روش دی‌الکتریک پرداختند. در این مطالعه از یک حسگر تشدیدکننده میکرواستریپ با بازه فرکانسی ۱ گیگاهرتز استفاده شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که فرکانس تشدید به عنوان تابعی از بریکس ساکاروز در آب نیشکر می‌باشد و با افزایش بریکس ساکاروز، فرکانس نیز افزایش می‌یابد.

انکاوایسیتین و منسری [۱۴] با استفاده از روش خازنی برای اندازه‌گیری میزان شکر محلول در آب، مداری ساخته و

می‌تواند به طور مطلوبی جذب مولکولی را افزایش دهد، در نتیجه امکان شناسایی مولکول‌ها حتی در غلظت‌های پایین را نیز فراهم می‌کند.

روش طیف نگاری دی‌الکتریک به عنوان یک روش ساده و کم هزینه در تشخیص کیفیت مواد غذایی در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این روش خواص دی‌الکتریک (اساساً شامل ضریب دی‌الکتریک و فاکتور افت) ماده تابعی از فرکانس میدان الکتریکی اندازه‌گیری و با خواص فیزیکی و شیمیایی ماده ارتباط داده می‌شود. رفتار دی‌الکتریک ماده تحت تأثیر عواملی شامل دمای نمونه و فرکانس میدان و خصوصیات فیزیکی ماده مانند میزان رطوبت، چگالی، ترکیب و ساختار شیمیایی ماده می‌باشد. به طور ساده حضور هرگونه ترکیب شیمیایی که قابلیت انحلال در آب داشته باشد می‌تواند باعث کاهش قطبیت مولکول‌های آب در ماده شده و خواص دی‌الکتریک آن را تغییر دهد. مولکول‌های قند از ساختارهای ساده تا پیچیده بسته به تعداد گروه‌های OH پس از انحلال با آب تأثیر متفاوتی بر خاصیت قطبی آب ایجاد می‌کنند و از این منظر انتظار می‌رود روش دی‌الکتریک پتانسیل تشخیص و تفکیک انواع قند را داشته باشد [۷]. طیف‌نگاری دی‌الکتریک با بررسی فعل و انفعالات حاصل از قرارگیری مواد مختلف در یک میدان الکتریکی، ابزاری را جهت شناخت خواص مختلف مواد فراهم می‌کند. ماده دی-الکتریک عایق الکتریسیته است که از دو قطبی‌های کوچک خنثی تشکیل شده است. زمانی که این مواد در معرض میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرند، بارهای الکتریکی درون ماده جریان نمی‌یابند (برخلاف مواد رسانا)، بلکه این دو قطبی‌های الکتریکی تنها به مقدار اندکی از موقعیت تعادلی خود جابه‌جا شده و به آرایش یافتن همسو با میدان الکتریکی تمایل می‌یابند. بدین ترتیب که انتهای مثبت آن‌ها به طرف پتانسیل کمتر و انتهای منفی آن‌ها به طرف پتانسیل بیشتر متمایل می‌شود. این جابه‌جایی، بازآرایی و توزیع مجدد دو قطبی‌ها، قطبش نام دارد و مهم‌ترین مفهوم در زمینه خواص دی‌الکتریک به شمار می‌رود. خواص دی‌الکتریک یا گذردهی، خواص ذاتی ماده هستند که اثر متقابل ماده با یک میدان الکتریکی خارجی را تعیین می‌کنند. ضریب دی‌الکتریک هر ماده با یک عبارت مختلط

ولی به‌طور معمول چند مؤلفه اصلی اول که بیشترین واریانس بین داده‌ها را پوشش داده، استفاده می‌شوند و صرف نظر از سایر مؤلفه‌ها منجر به از دست دادن حداقل اطلاعات می‌شود [۱۵].

از مجموعه مطالعات صورت گرفته برای تشخیص انواع قند و اندازه‌گیری غلظت قندها در مواد غذایی و کشاورزی با استفاده از حسگرهای دی‌الکتریک می‌توان پتانسیل بسیار خوب این روش برای ارزیابی کیفی و تشخیص قند و تقلب در مایعات غذایی را انتظار داشت. تاکنون مطالعه‌ای با هدف تشخیص انواع قند با استفاده از روش دی‌الکتریک آن‌هم به‌منظور امکان تشخیص تقلب در نوشیدنی‌های مالت جو گزارش نشده است. لذا مطالعه حاضر با هدف توسعه کاربرد روش دی‌الکتریک برای تشخیص انواع قند در مایعات غذایی (به‌طور موردی برای تشخیص ترکیب انواع قندها با مالت جو) انجام شد. در صورت اثبات توانایی این روش در تشخیص و تفکیک انواع قند می‌توان ابزارهای سریع برای تشخیص تقلب در مایعات غذایی ارائه نمود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. حسگر دی‌الکتریک (رزوناتور) استوانه‌ای

حسگر مورد استفاده در این مطالعه متشکل از یک استوانه خارجی از جنس استیل به‌عنوان بدنه حسگر و قطب منفی خازن، مغزی استیل به قطر ۴ mm به‌عنوان قطب مثبت خازن و عایق‌های تفلونی برای ایزوله نمودن قطب‌های خازن می‌باشد [۸]. مایع مورد ارزیابی با این حسگر به‌عنوان ماده دی‌الکتریک بین دو قطب مثبت و منفی قرار گرفته که تغییرات در خصوصیات دی‌الکتریک آن تأثیر در پاسخ دامنه-فرکانس (AF) حاصل از اندازه‌گیری خواهد داشت. طیف A-F بیانگر اطلاعاتی در مورد ماده دی‌الکتریک درون حسگر و همچنین فرکانس تشدید آن ماده می‌باشد. از فرکانس تشدید با رابطه (۲) می‌توان ضریب دی‌الکتریک نسبی ماده را به دست آورد [۱۶].

$$f_{\text{res}} = \frac{c(2n-1)}{4l\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (2)$$

که  $f_{\text{res}}$  فرکانس تشدید (Hz)،  $c$  سرعت نور در خلأ ( $m \cdot s^{-1}$ )،  $n$  شماره توالی تشدیدها،  $l$  طول حسگر (m)،  $\epsilon_r$  ضریب

آزمایش نمودند. حسگر دی‌الکتریک در این پژوهش به وسیله یک مولد تابع موج سینوسی تغذیه می‌شد. حسگر خازنی به درصدهای مختلف شکر محلول در آب واکنش نشان داد. نتایج نشان داد فرکانس مناسب از منبع تولید توان، بین ۱۲۰ تا ۳۰۰ کیلوهرتز می‌باشد. همچنین تغییرات ولتاژ خروجی پاسخ برای محتوای قند ۱۰ تا ۵۰ درصد در محلول در محدوده‌ای بزرگ مشاهده شد که این امر بسیار مطلوب است زیرا محتوای قند محصولات کشاورزی مانند چغندر قند از این محدوده فراتر نمی‌باشند. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه پیشنهادی دارای پتانسیل خوبی برای تعیین مقدار ساکاروز محلول در آب می‌باشد. الشامی [۷] به بررسی مکانیسم‌های اثر متقابل دی‌الکتریک محلول‌های کربوهیدرات غذایی (نشاسته، ساکاروز، گلوکز و فروکتوز) در محدوده فرکانسی ۱۰-۱۸۰۰ مگاهرتز و در بازه دمایی ۱۰۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پرداخت. در این مطالعه تأثیر فرکانس میدان، دما و غلظت قندها بر روی ثابت دی‌الکتریک و ضریب افت مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت. در همه نمونه‌ها، با افزایش فرکانس ثابت دی‌الکتریک افت چشمگیری را نشان داد که به شکسته شدن باندهای هیدروژنی آب ارتباط داده شد. همچنین ثابت دی‌الکتریک با افزایش درجه حرارت، کاهش تدریجی را نشان داد زیرا افزایش درجه حرارت منجر به از بین رفتن دوقطبی‌ها و در نتیجه کاهش ضریب دی‌الکتریک می‌شود. همچنین با افزایش غلظت هر نوع قند در محلول و ترکیب مولکول‌های قند و آب، از تعداد مولکول‌های دوقطبی آزاد آب کاسته می‌شود که این کاهش ذخیره انرژی از طریق مکانیزم پلاریزاسیون را در برداشته و ضریب دی‌الکتریک نیز کاهش خواهد یافت.

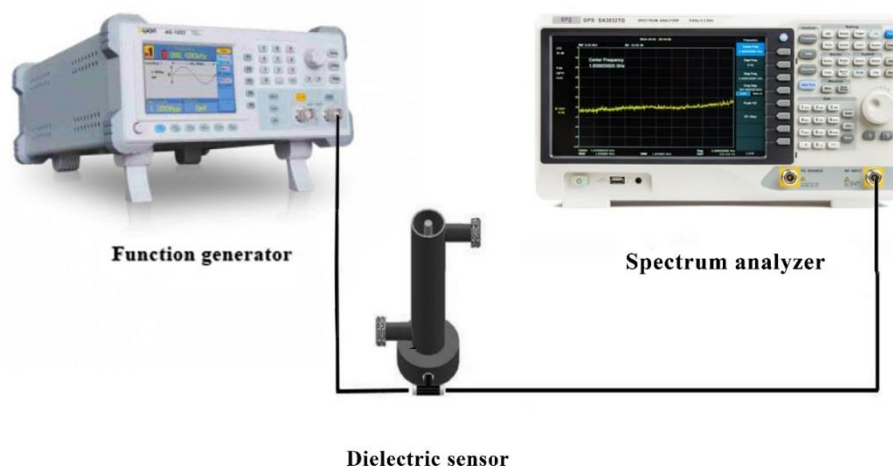
تجزیه مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان یک روش آماری چند متغیره بدون ناظر روشی شناخته شده در فشرده‌سازی داده‌های خطی، کاهش ابعاد داده‌ها، استخراج ویژگی‌ها و همچنین تشخیص الگو می‌باشد. این روش یک تبدیل خطی متعامد است که داده‌ها را به دستگاه مختصات جدید برده طوری که در این تبدیل بزرگ‌ترین واریانس داده‌ها به ترتیب توسط اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی (PC1) و (PC2) توجیه می‌شود و این روند برای همه متغیرها ادامه می‌یابد [۱۵]. اگرچه به تعداد کل متغیرهای مسئله، مؤلفه اصلی وجود دارد

تولید ولتاژ سینوسی برای تغذیه حسگر می‌باشد. حسگر با استفاده از کابل هم محور و اتصال T از یک طرف به فانکشن ژنراتور و از طرف دیگر به دستگاه تحلیل گر طیف (GW-Instek, GSP-827, Taiwan) متصل می‌شود. با جاروب فرکانس در بازه ۰-۱۵۰ MHz، تحلیل گر طیف دامنه توان حسگر را اندازه‌گیری می‌نماید. در نهایت طیف AF به‌عنوان یک اثر انگشت دی‌الکتریک در بازه فرکانسی مورد آزمون برای ماده حاصل می‌شود.

دی‌الکتریک نسبی ماده،  $\mu_r$  ضریب مغناطیسی نسبی الکتروود می‌باشد. مطابق با این رابطه فرکانس تشدید حسگر با ضریب دی‌الکتریک ماده و طول حسگر به شکل معکوس ارتباط دارد.

### ۲.۲. سامانه اندازه‌گیری دی‌الکتریک

الکتریک استوانه‌ای را نشان می‌دهد. این سامانه شامل دستگاه فانکشن ژنراتور (OWON, AG-4151, Hong Kong) می‌باشد که در بازه فرکانسی ۰-۱۵۰ MHz قادر به شکل (۱) طرح‌واره‌ای از سامانه اندازه‌گیری با حسگر دی



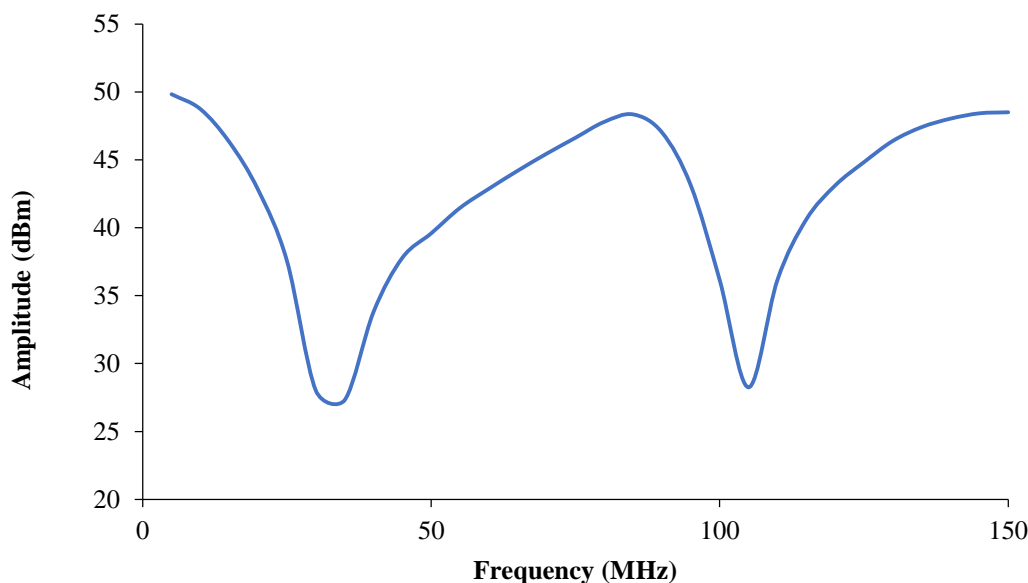
شکل (۱) سامانه اندازه‌گیری با حسگر رزوناتور استوانه‌ای

Fig. 1. Measurement system using the cylindrical resonator sensor

استفاده از فرکانس اولین دره طیف،  $l$  (طول حسگر)  $m$   $0.25$ ،  $\mu_{re}$  (نفوذپذیری مغناطیسی نسبی استیل) برابر یک، ضریب دی‌الکتریک آب با استفاده از فرکانس تشدید اول  $85/71$  به دست آمد که برای آب خالص در دمای اتاق مقدار منطقی و مطابق با سایر منابع علمی است. این نتیجه عملکرد صحیح حسگر و سامانه اندازه‌گیری را تأیید نمود.

### ۳.۲. واسنجی حسگر

برای واسنجی و اطمینان از عملکرد حسگر و سامانه اندازه‌گیری ابتدا یک نمونه آب خالص مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. شکل (۲) طیف حاصل از آب خالص را نشان می‌دهد که دره‌های آن به ترتیب در فرکانس‌های ۳۵ و ۱۰۵ مگاهرتز واقع شده است. با استفاده از رابطه (۲) و با فرض مقادیر  $c$  (سرعت نور در خلاء) برابر  $3 \times 10^8 m s^{-1}$ ،  $n$  برابر یک (جهت



شکل (۲) پاسخ دامنه - فرکانس (AF) حسگر رزوناتور برای آب  
 Fig 2. Amplitude-frequency (AF) of the resonator sensor for pure water

#### ۴.۲. تهیه نمونه

برای انجام آزمایش‌ها نمونه قندهای فروکتوز، شربت ذرت غنی از فروکتوز و گلوکز از شرکت زر فروکتوز تهران و همچنین نمونه طبیعی مالت جو از شرکت به مالت هفشجان (شهرستان شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری) تهیه شدند. همچنین قند اینورت به روش آزمایشگاهی و بدون نیاز به آنزیم تهیه شد بدین صورت که ۲۰۰ CC شکر معمولی را در ۱۰۰ CC آب مخلوط و به آن ۱ CC آبلیمو اضافه شد، سپس مخلوط روی حرارت گذاشته شد تا به جوش برسد و به مدت ۳۰ دقیقه در حالت جوشیدن باقی ماند. سپس در یک ظرف درب‌دار ریخته و به یخچال منتقل شد. نمونه‌های محلول آب - قند و همچنین نمونه‌های قندهای ترکیبی با عصاره مالت جو با دستگاه رفرکتومتر پرتابل (Milwaukee, MA871، ساخت کشور مجارستان) در ۴ بریکس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ تهیه شدند و اندازه‌گیری‌های دی-الکتریک بر روی آن‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک برای هر نمونه با شش بار تکرار انجام گرفت. ابتدا مقدار گنجایش حسگر استوانه‌ای به دقت اندازه‌گیری و به همان میزان، نمونه‌های آزمایش توزین و درون حسگر ریخته شد. از آنجا که دستگاه مولد تابع امکان

جاروب فرکانس فقط تا محدوده ۲۵ مگاهرتز را داشت، فرکانس‌های اندازه‌گیری به شکل دستی تا حداکثر ۱۵۰ مگاهرتز با فاصله ۲ مگاهرتز تنظیم شد. بدین ترتیب نهایتاً تعداد ۷۵ فرکانس تولید و توان متناظر آن با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر طیف اندازه‌گیری و در رایانه ثبت گردید. تکرار اندازه‌گیری برای هر نمونه تفاوت‌های بسیار جزئی در طیف‌های دی‌الکتریک نشان داد که از این نظر می‌توان طیف‌های حاصله را به‌عنوان اثر انگشت دی‌الکتریک ماده مورد تحلیل قرار داد.

#### ۵.۲. تحلیل‌های آماری

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با حسگر دی‌الکتریک در حوزه فرکانس به صورت چند متغیره می‌باشند (دامنه اندازه‌گیری شده در ۷۵ فرکانس). در مجموع ۲۴ نمونه شامل ۶ نمونه قند (گلوکز، فروکتوز، انورت، شربت ذرت غنی از فروکتوز، مالت جو و ساکاروز) با ۴ سطح مختلف بریکس برای قندهای مستقل و ۲۰ نمونه شامل ۵ نمونه قند ترکیبی با مالت (عصاره مالت + قند گلوکز، عصاره مالت + قند فروکتوز، عصاره مالت + قند انورت، عصاره مالت + شربت ذرت غنی از فروکتوز، عصاره مالت + قند ساکاروز) با ۴ سطح

حاصل از محلول فروکتوز نیز به این دلیل است که با افزایش بریکس، ضریب دی الکتریک محلول کاهش داشته است. برای مثال برای طیف‌های حاصل از محلول فروکتوز با استفاده از فرکانس دره‌های دوم می‌توان ضرایب دی الکتریک  $۸۴/۹۰$ ،  $۸۳/۳۳$ ،  $۸۱/۸۱$  و  $۸۰/۳۵$  را به ترتیب برای بریکس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ به دست آورد. این نتیجه از لحاظ فیزیکی منطقی است چرا که با افزایش غلظت هر نوع قند در محلول و ترکیب مولکول‌های قند و آب، از تعداد مولکول‌های دوقطبی آزاد آب کاسته می‌شود که این کاهش ذخیره انرژی از طریق مکانیزم پلاریزاسیون را در برداشته و ضریب دی الکتریک نسبی متعاقباً کاهش خواهد یافت. این نتیجه در دیگر مطالعات نیز تأیید شده است [۱۲، ۱۳، ۱۸]. برای شربت ذرت غنی از فروکتوز (شکل ۴-ج) تفاوت در طیف‌ها با افزایش بریکس (به غیر از سطح بریکس ۶) خود را با افزایش عمق دره اول نشان داده است. در دیگر قندها روند واضحی بین مشخصه‌های طیف با تغییر سطح بریکس یافت نشد. یک دلیل برای این امر می‌تواند عدم کفایت فاصله بین فرکانس‌ها در جاروب طیف باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد، در اندازه-گیری کلیه طیف‌ها در این مطالعه فاصله بین فرکانس‌های متوالی دو مگاهرتز انتخاب شد، در حالی که تفاوت در خصوصیات دی الکتریک نمونه‌ها بواسطه تغییر در بریکس می‌تواند تغییرات کوچک‌تری در فرکانس‌های تشدید طیف داشته باشد که نیازمند جاروب فرکانس با فاصله‌های ریزتر است.

جدول (۱) مقادیر فرکانس تشدید در دره‌های اول و دوم و ضریب دی الکتریک متناظر را برای محلول انواع قند ساکاروز، گلوکز، فروکتوز، اینورت، شربت ذرت غنی از فروکتوز و مالت نشان می‌دهد. با مقایسه با طیف و ضریب دی الکتریک آب خالص این نتیجه حاصل می‌شود که فرکانس دره دوم برای محلول‌های آب قند نسبت به آب خالص افزایش داشته است که بیانگر کاهش ضریب دی الکتریک نسبت به آب است ولی بر اساس مقادیر محاسبه شده ضریب دی الکتریک با فرکانس دره‌های اول نتیجه قابل توجیهی حاصل نشد.

همان طور که پیش‌تر اشاره شد، برای نمونه‌های محلول مالت جو، رفتار طیف‌ها به خصوص در سطوح بریکس بالاتر تفاوت زیادی با رفتار طیف‌های دیگر قندها نشان می‌دهد

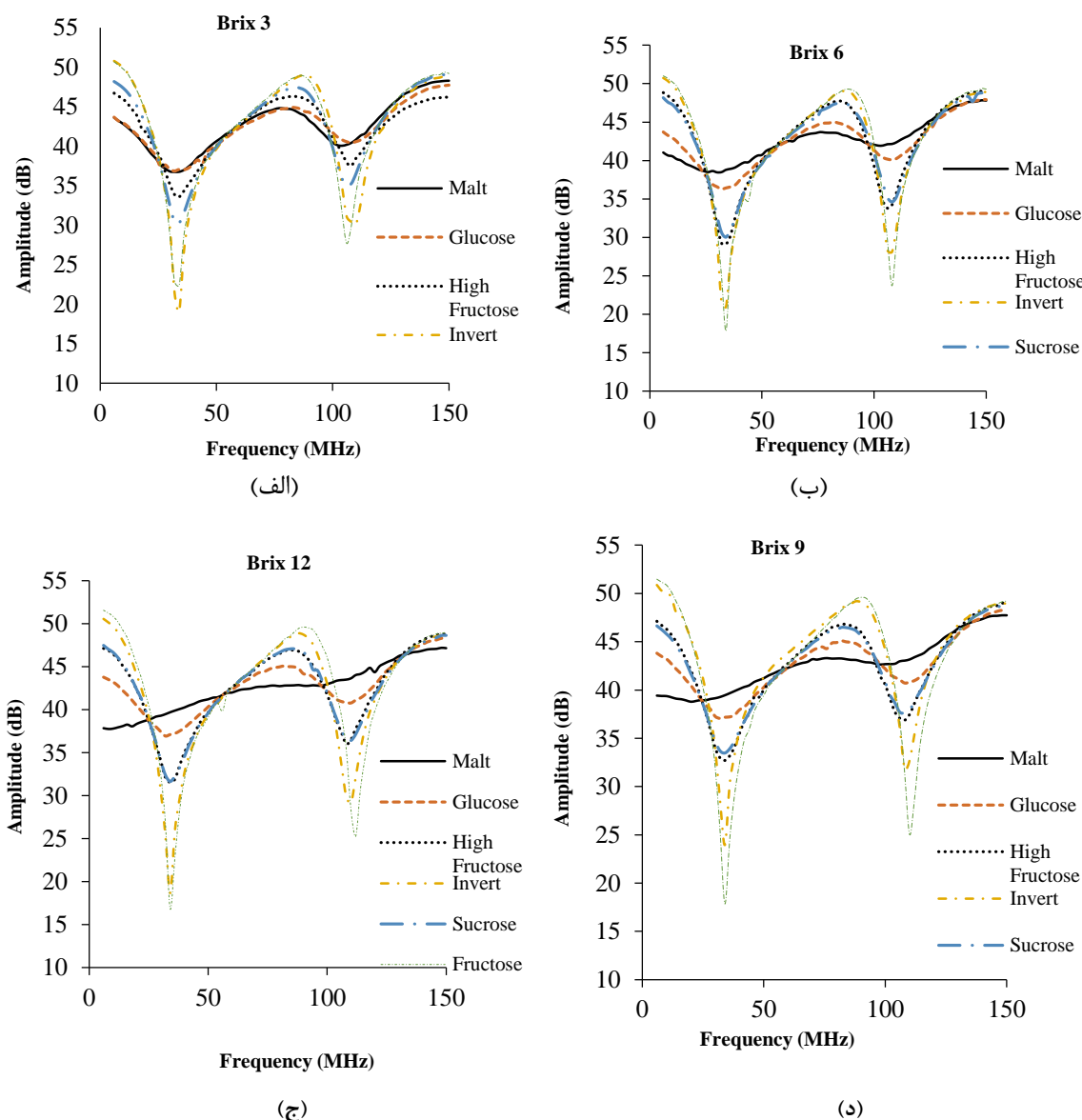
بریکس مختلف مورد آزمایش قرار گرفت که با در نظر گرفتن شش تکرار، ۱۴۴ طیف دی الکتریک برای قندهای مستقل و ۱۲۰ طیف دی الکتریک برای قندهای ترکیبی با عصاره مالت جمع‌آوری و ذخیره شد. میانگین شش تکرار به عنوان طیف مرجع برای هر نمونه مورد تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شد.

### ۳. نتایج و بحث

شکل (۳) طیف‌های توان دی الکتریک بر حسب فرکانس در بازه ۰-۱۵۰ مگاهرتز را برای شش نمونه محلول آب-قند (با قندهای مختلف) در چهار سطح بریکس ۳، ۶، ۹، ۱۲ نشان می‌دهد. در طیف‌ها دو دره در فرکانس‌های ۳۶-۳۰ و ۱۱۲-۱۰۴ مگاهرتز اتفاق افتاده است که همان فرکانس‌های تشدید طیف هستند. مشاهده می‌شود که در هر سطح بریکس برای محلول‌های تک قند، فرکانس دره‌ها تفاوت آشکاری نشان نداده ولی عمق دره‌ها تفاوت نسبتاً زیادی را نشان می‌دهد. در بریکس‌های مختلف، عمیق‌ترین دره‌ها در طیف برای قندهای فروکتوز و اینورت و کوتاه‌ترین آنها برای محلول‌های مالت و گلوکز حاصل شده است. در این حسگر تغییرات در فرکانس دره‌ها (فرکانس تشدید) اساساً تحت تأثیر ضریب دی الکتریک نسبی ماده و عمق دره‌های طیف‌های A-F بیشتر تحت تأثیر فاکتور افت ماده است [۱۷]. برای تبیین بهتر نتایج در شکل ۴ طیف‌های A-F محلول‌های با قند مالت، فروکتوز و شربت ذرت غنی از فروکتوز در بریکس‌های مختلف نشان داده شده است. برای قند مالت (شکل ۴-الف) تفاوت در طیف‌ها با افزایش بریکس هم با تغییر فرکانس دره و هم با میرایی طیف همراه بوده است طوری که عمق دره‌های طیف با افزایش بریکس کاهش یافته است. برای برخی از قندها تفاوت در فرکانس دره دوم تحت تأثیر افزایش بریکس به‌خوبی نمایان است. برای مثال فرکانس دره دوم طیف‌ها برای قند فروکتوز (شکل ۴-ب) در سطوح بریکس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ به ترتیب در ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۱۰ و ۱۱۲ مگاهرتز واقع شده است که یک رابطه خطی کاهشی را نتیجه می‌دهد. مطابق رابطه (۱)، افزایش فرکانس دره‌های طیف A-F این حسگر بیانگر کاهش ضریب دی الکتریک نسبی ماده می‌باشد و افزایش فرکانس دره دوم طیف‌های

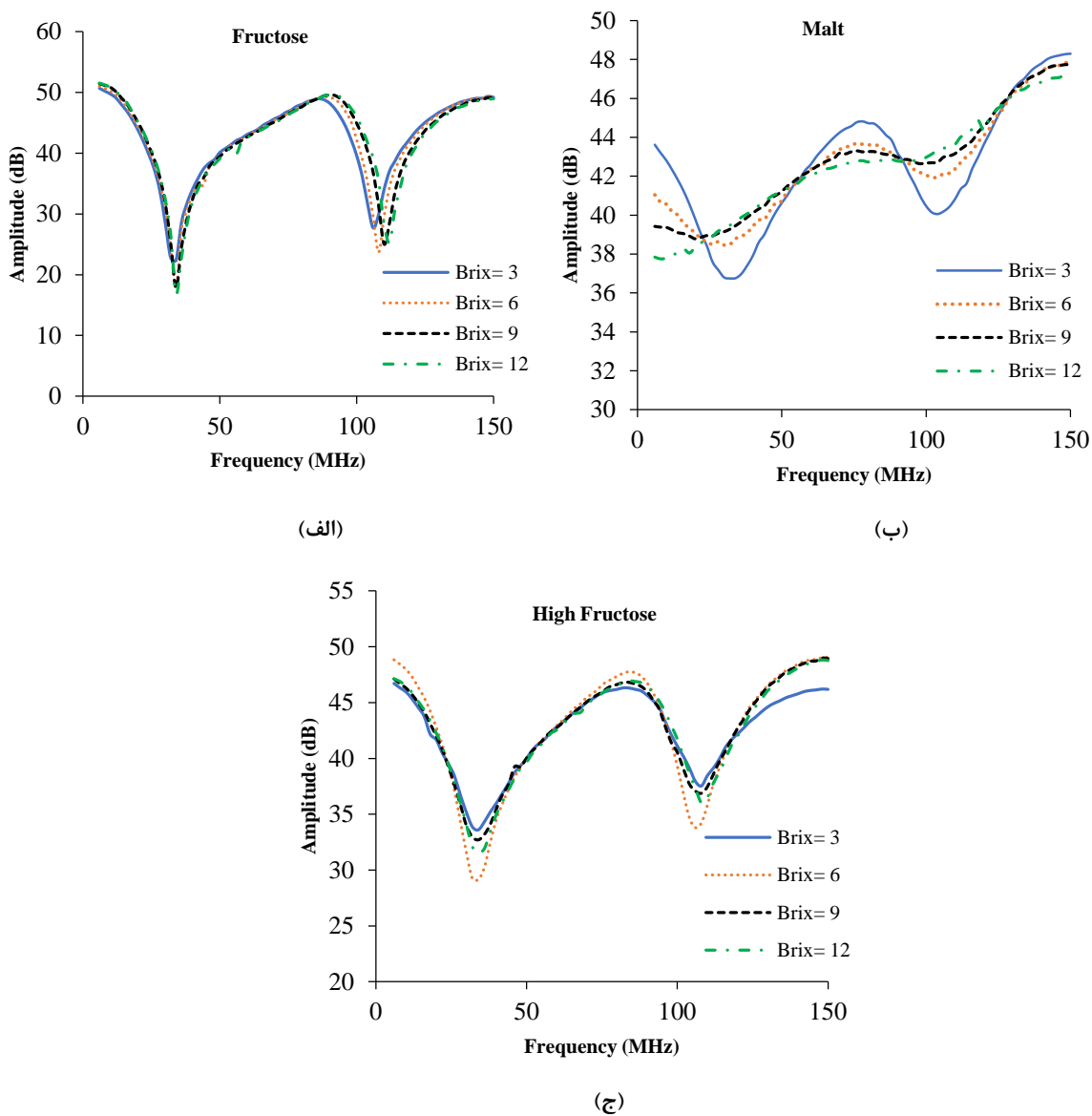
عصاره به طور طبیعی حاوی ۳۱ g/100 ml قند مالتوز و ۸/۲ g/100 ml قند گلوکز بوده و فاقد فروکتوز و ساکاروز می‌باشد. این گونه تفاوت‌ها در شکل طیف‌های نمونه‌های مختلف امکان تمایز بین نمونه‌ها با روش‌های تک متغیره (مانند عمق یا فرکانس دره‌ها) را مشکل کرده، لذا روش‌های آنالیز طیفی برای استخراج تفاوت‌ها به‌منظور تمایز بین نمونه‌های مختلف مد نظر قرار گرفت.

طوری که نمی‌توان دره‌های موجود در طیف را به وضوح تشخیص داد و حتی در بریکس ۱۲ شکل طیف عملاً نشان دهنده وقوع هیچ نوع پدیده تشدیددی نمی‌باشد. البته شایان توجه است که مالت جو ترکیبی از قندهای مالتوز و گلوکز را در خود دارد که ممکن است علت تفاوت زیاد با شکل طیف‌های قندهای یک گانه در این باشد. انجام یک نمونه آزمایش HPLC بر روی نمونه عصاره مالت جو نشان داد که این



شکل (۳) طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌های محلول آب-قند در الف) بریکس ۳، ب) بریکس ۶، ج) بریکس ۹ و د) بریکس ۱۲  
**Fig 3.** Dielectric spectra of sugar water solution samples for a) Brix 3, b) Brix 6, c) Brix 9, d) Brix 12





شکل (۴) طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌های محلول آب-قند در بریکس‌های مختلف قند الف) مالتوز، ب) فروکتوز و ج) شربت ذرت غنی از فروکتوز.

Fig 3. Dielectric spectra of sugar water solution samples for different Brix levels of a) Malt, b) Fructose and c) High-fructose corn syrup

محللول‌های ترکیبی با مالت جو نسبت به طیف‌های با محللول‌های تک قند دارای میرایی بیشتری در عمق دره‌های طیف می‌باشند و بخصوص در بریکس‌های بالاتر وقوع تشدید در آنها به وضوح مشاهده نمی‌شود.

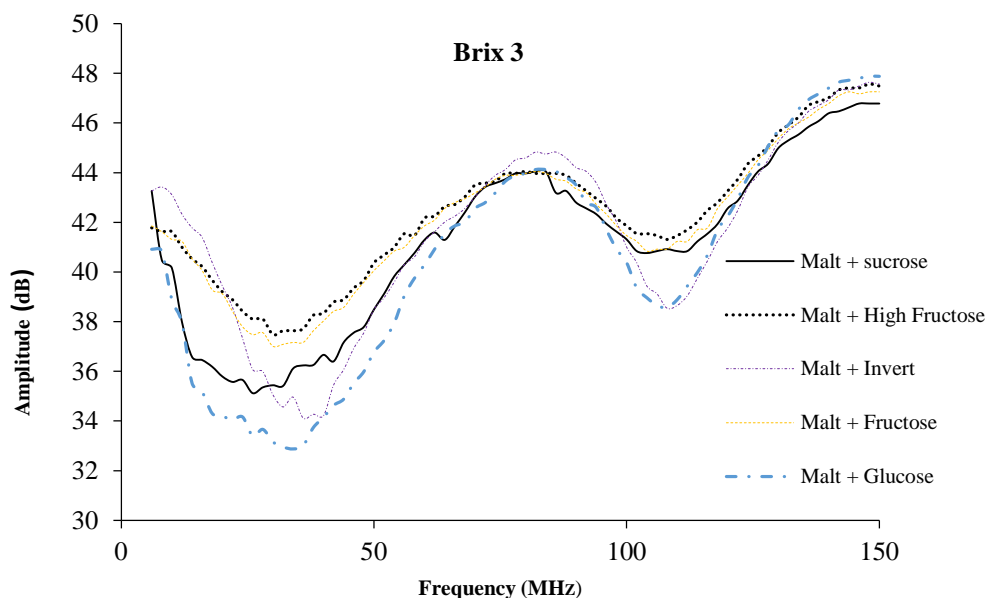
شکل (۵) طیف‌های دی‌الکتریک قندهای ساکاروز، غنی از فروکتوز، اینورت، فروکتوز و گلوکز را در ترکیب با مالت جو در دو سطح بریکس ۱۲ و ۳ و در بازه ۰ تا ۱۵۰ مگاهرتز نشان می‌دهد. آنچه مشخص است اینکه شکل طیف‌های

جدول (۱) مقادیر فرکانس تشدید و ضریب دی‌الکتریک آب خالص و انواع قند ساکاروز، گلوکز، فروکتوز، اینورت، شربت ذرت غنی از فروکتوز و مالت با درجه بریکس‌های مختلف

Table 1. Value of resonant frequency and relative dielectric constant of pure water and solutions of sucrose, glucose, fructose, invert, high fructose corn syrup and malt extract with different degrees of Brix

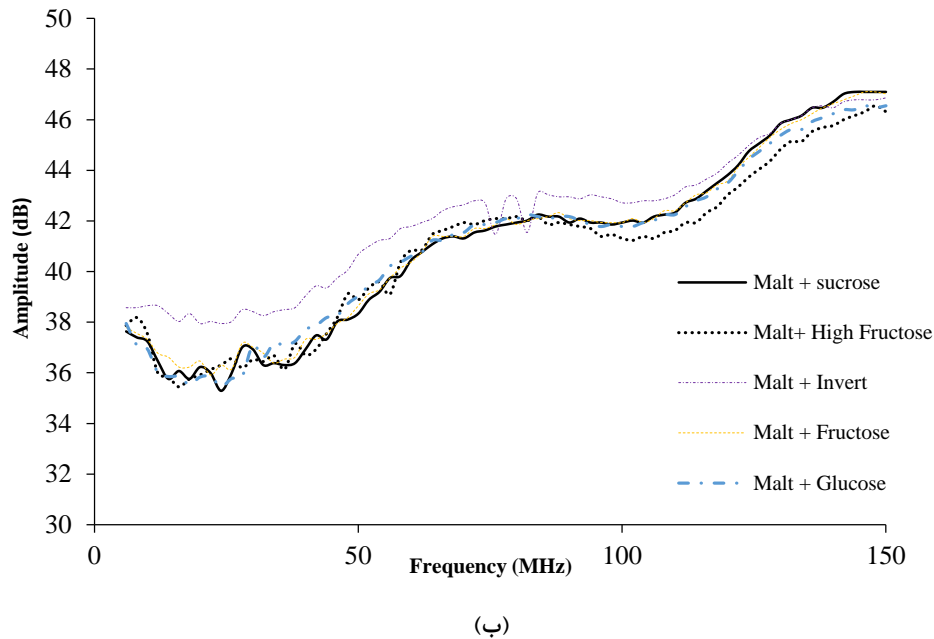
آب خالص Pure Water	اینورت Invert	غنی از فروکتوز High Fructose	فروکتوز Fructose	گلوکز Glucose	ساکاروز Sucrose	مالت Malt	نمونه Sample
35	34	34	32	32	34	-	$f_{1,res}$
105	108	106	106	106	106	106	$f_{2,res}$
85.71	88.23	88.23	93.75	93.75	88.23	-	$\epsilon_1$
85.71	83.33	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90	$\epsilon_2$
	34	34	34	32	34	30	$f_{1,res}$
	108	108	108	108	108	106	$f_{2,res}$
	88.23	88.23	88.23	93.75	88.23	100	$\epsilon_1$
	83.33	88.23	83.33	83.33	83.33	84.90	$\epsilon_2$
	34	36	34	34	34	30	$f_{1,res}$
	110	108	110	108	108	108	$f_{2,res}$
	88.23	83.33	88.23	88.23	88.23	100	$\epsilon_1$
	81.81	83.33	81.81	83.33	83.33	83.33	$\epsilon_2$
	34	36	36	34	34	30	$f_{1,res}$
	110	108	112	110	110	108	$f_{2,res}$
	88.23	83.33	83.33	88.23	88.23	100	$\epsilon_1$
	81.81	83.33	80.35	81.81	81.81	83.33	$\epsilon_2$

ضریب دی‌الکتریک دره دوم:  $\epsilon_2$  ، ضریب دی‌الکتریک دره اول:  $\epsilon_1$  ، فرکانس تشدید دره دوم:  $f_{2,res}$  ، فرکانس تشدید دره اول:  $f_{1,res}$



(الف)

## Brix 12



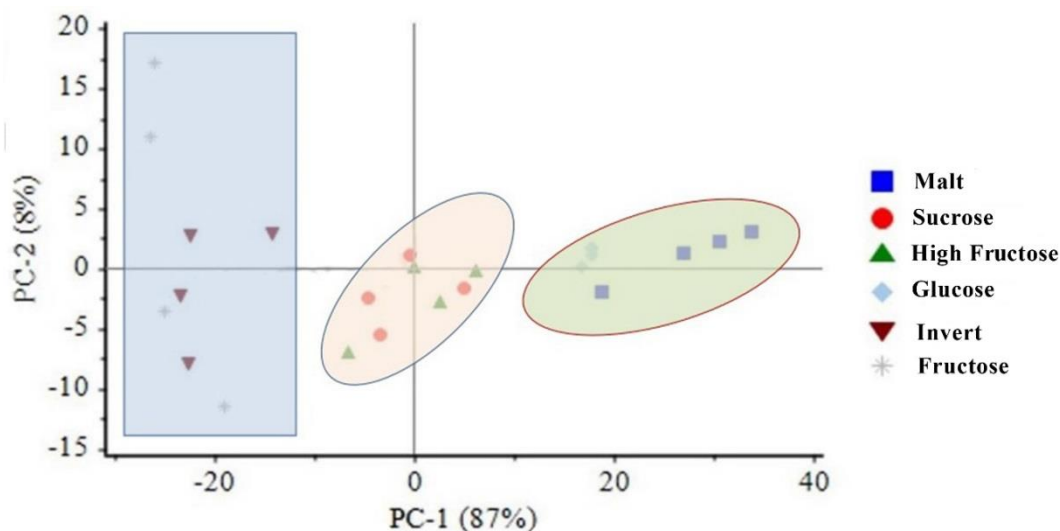
شکل (۵) طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌های محلول آب-قند-مالت در الف) بریکس ۳، ب) بریکس ۱۲  
**Fig 5.** Dielectric spectra of sugar water solution samples a) Brix 3, b) Brix

تعداد هشت گروه OH به شکل محلول در آب با غلظت یکسان به ترتیب ضرایب دی‌الکتریک بزرگ‌تر و کوچک‌تری نتیجه دهند [۷]. این نتیجه را می‌توان تا حدی در شکل (۳) به خصوص در سطح بریکس ۳ مشاهده نمود طوری که فرکانس تشدید دره دوم طیف‌ها برای نمونه فروکتوز از نمونه ساکاروز کوچک‌تر شده که تفسیر آن بزرگ‌تر بودن ضریب دی‌الکتریک نمونه‌های محلول فروکتوز نسبت به محلول ساکاروز در غلظت یکسان می‌باشد. با این حال چنین نتیجه‌ای در بریکس‌های بالاتر استخراج نشد. این تفاوت بین ساکاروز و فروکتوز در دسته‌بندی‌های نشان داده شده در شکل (۶) نیز به وضوح مشاهده می‌شود. با این حال گلوکز با تعداد پنج گروه OH شباهت بیشتری با نمونه‌های عصاره مالت جو نشان داده است. همان‌گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود قند ساکاروز با هشت گروه OH و شربت ذرت غنی از فروکتوز با هفت گروه OH بیشترین شباهت را با یکدیگر دارند. برخی تفاوت‌های دیگر را احتمالاً بتوان تحت تأثیر فاکتور

شکل (۶) نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی طیف‌های دی‌الکتریک نمونه قندهای مستقل هر کدام در چهار سطح بریکس ۳، ۶، ۹، ۱۲ را نشان می‌دهد. مؤلفه‌های  $PC_1$  و  $PC_2$  به ترتیب ۸۷٪ و ۸٪ واریانس موجود در داده‌ها را بیان می‌کند. بر اساس مرزبندی‌های مشخص شده در شکل می‌توان شباهت‌های موجود در طیف‌های دی‌الکتریک این نمونه‌ها را توجیه نمود طوری که قندهای گلوکز و مالت در یک دسته، ساکاروز و شربت ذرت غنی از فروکتوز در یک دسته و قندهای اینورت و فروکتوز در دسته دیگری قرار می‌گیرند. اساساً شباهت طیف‌های دی‌الکتریک در نمونه‌ها با شباهت‌های ساختاری مولکول‌های قند توجیه می‌گردد که مهم‌ترین مؤلفه آن تعداد گروه‌های OH قندها می‌باشد. هر چه تعداد گروه‌های OH قند کمتر باشد، ترکیب آن با آب خاصیت دو قطبی تعداد مولکول کمتری از آب را تحت تأثیر قرار داده، لذا ضریب دی‌الکتریک بزرگ‌تری به شکل محلول نتیجه می‌دهد. بر این اساس انتظار می‌رود مولکول فروکتوز با کوچک‌ترین ساختار و تعداد چهار گروه OH و ساکاروز با

شده در شکل (۳) دانست که عمق دره‌های طیف‌های مربوط به فروکتوز را بیشتر از نمونه‌های ساکاروز نشان می‌دهد. همانطور که پیش‌تر بحث شد، عمق دره‌های طیف A-F این حسگر بیشتر تحت تأثیر فاکتور افت نمونه می‌باشد.

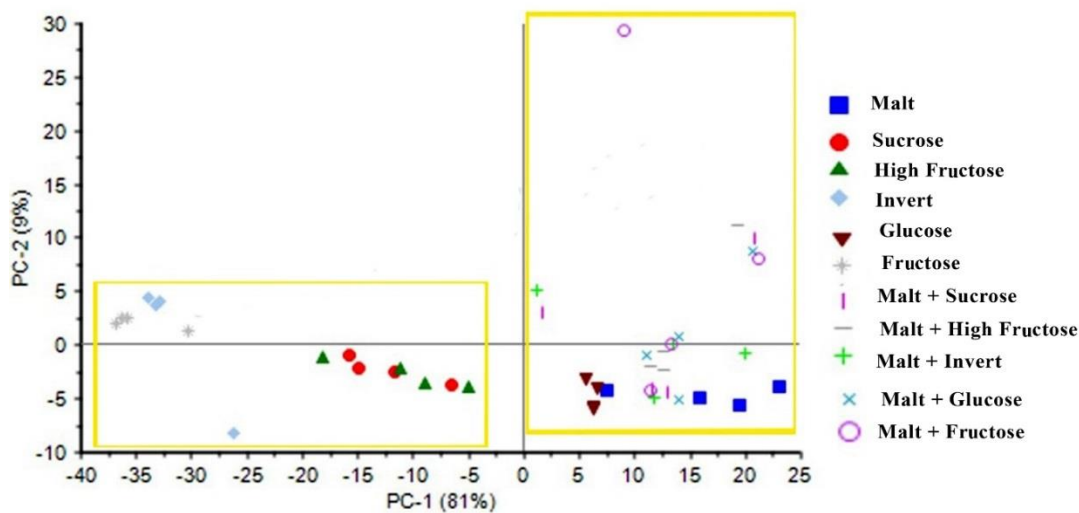
افت نمونه‌ها بحث نمود [۷]. فاکتور افت نمونه محلول‌های ساکاروز نسبت به نمونه محلول‌های فروکتوز و گلوکز بخصوص در محدوده فرکانسی ۲۰۰-۰ مگاهرتز کوچک‌تر است. این نتیجه را می‌توان همسو با طیف‌های نشان داده



شکل (۶) آنالیز PCA برای طیف‌های دی‌الکتریک محلول قندهای مستقل  
**Fig 6.** PCA analysis for dielectric spectra of sugars water solution

رسید که اگر نمونه‌ای حاوی مالت و گلوکز چه به صورت مستقل و یا در ترکیب با قندهای دیگر باشد سمت راست نمودار طبقه‌بندی می‌شود. به طور کلی نمی‌توان نتیجه گرفت که قندهای در ترکیب با مالت جو با استفاده از طیف‌های دی‌الکتریک قابل تمایز و تفکیک از هم بوده‌اند. علت این امر را می‌توان در اثر تجمعی دی‌الکتریک قندها در ترکیب با هم دانست که احتمالاً ترکیب‌های متفاوتی از قندها می‌تواند خصوصیات دی‌الکتریک (ضریب دی‌الکتریک و فاکتور افت) یکسانی را نتیجه دهد.

در یک تحلیل دیگر محلول قندهای مستقل و ترکیبی با مالت جو با همدیگر در نظر گرفته شدند. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، فضای مؤلفه‌های اصلی  $PC_1$  و  $PC_2$  تفاوت‌های بارزی بین نمونه محلول‌های تک قند با محلول‌هایی با قند ترکیبی را نشان می‌دهد طوری که اگر خط عمودی که نمودار را به دو نیم تقسیم کرده است را در نظر بگیریم مشخص می‌شود که نمونه‌های حاوی قندهای ترکیبی و مالت سمت راست نمودار و قندهای مستقل به جز گلوکز در سمت چپ نمودار هستند. می‌توان به یک نتیجه



شکل (۷) آنالیز PCA برای طیف‌های دی‌الکتریک قندهای مستقل و ترکیبی با مالت جو  
 Fig 7. PCA analysis for dielectric spectra of independent sugars and combinations with barley malt

همچنین نتایج برای قندهای ترکیبی با عصاره مالت جو نشان داد که قندهای مستقل به جز مالت و گلوکز در یک گروه و قندهای ترکیبی همگی در گروهی متمایز تفکیک شدند. به طور کلی با نتایج حاصل نمی‌توان انتظار اندازه‌گیری کمی قندهای موجود در یک مایع با این روش را داشت ولی با آموزش طیف‌های حاصل از یک مایع غذایی اصیل و نمونه‌های دارای تقلب همان مایع امکان تشخیص و جداسازی نمونه‌های تقلبی از اصیل می‌تواند وجود داشته باشد. از آنجایی که ممکن است تفاوت بین مشخصه‌های دی‌الکتریک بین نمونه‌ها فرکانس‌های تشدید در دره‌ها را با مقادیر بسیار کمتری تغییر دهد، توصیه می‌گردد مطالعات تکمیلی با جاروب فرکانس با فاصله‌های کوچک‌تر فرکانس و همچنین در محدوده بزرگ‌تری از فرکانس (تا حد گیگا هرتز) صورت گیرد تا تفاوت‌های بین نمونه‌ها با دقت بیشتری ظهور گردد.

#### تقدیر و تشکر

از شرکت به مالت هفشجان (استان چهارمحال و بختیاری) که در تهیه نمونه‌های قند و نمونه خالص عصاره مالت جو، همچنین با ارائه مشاوره‌های علمی مرتبط با صنعت نوشیدنی‌های مالت جو از این مطالعه حمایت نمود تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک در محدوده فرکانسی ۱۵۰ مگاهرتز با استفاده از یک حسگر تشدیدگر استوانه‌ای دی‌الکتریک برای تشخیص انواع قند در محلول‌های آب قند مورد ارزیابی قرار گرفت. طیف‌های دامنه-فرکانس (AF) حاصل از اندازه‌گیری‌های با این حسگر برای نمونه‌های محلول انواعی از قندها شامل ساکاروز، فروکتوز، گلوکز، اینورت، شربت ذرت غنی از فروکتوز و مالت جو تفاوت‌هایی را در طیف‌های دی‌الکتریک قندهای مختلف با بریکس‌های متفاوت نشان داد. به طور کلی هر چه بریکس محلول آب قند افزایش یابد ضریب دی‌الکتریک محلول کاهش می‌یابد و هر چه تعداد گروه‌های OH قند کمتر باشد ترکیب آن با آب خاصیت دو قطبی تعداد مولکول کمتری از آب را تحت تأثیر قرار داده، لذا ضریب دی‌الکتریک بزرگ‌تری را نتیجه می‌دهد. طیف‌های دی‌الکتریک حسگر استوانه‌ای قدرت تشخیص امیدوار کننده‌ای در انواع قندها زمانی که به شکل محلول تک قند مورد ارزیابی قرار گرفتند نشان داد با این حال ارتباط مشخصی بین سطح بریکس و مشخصه‌های طیف در برخی قندها یافت نشد. در الگوی موجود در طیف‌ها در تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای قندهای مستقل، ساکاروز و شربت ذرت غنی از فروکتوز، فروکتوز و قند اینورت، و گلوکز و مالت جو در سه دسته بدون همپوشانی قابل تمایز بودند.

## منابع

- [1] Bagherzadeh, Gh., & Manzary tavakoli, M. (2017). Identification of two new sugars in saffron wastes using gas chromatography-mass spectrometry. *J. Saffron Res.*, 5(1), 90-99. [In Persian]
- [2] Akbari-Adergani, B., Naghavi, S., & Shir Khan, F. (2018). Comparative evaluation of major carbohydrates in classic and flavored non-alcoholic beers by high performance liquid chromatography and refractive index detection. *J. Health Res. Commun.*, 4(3), 79-90. [In Persian]
- [3] Ferreira I. M., & Martins F. (2007). Carbohydrate content of lager and ale beer. *Food Ind. Human.*, 13(1), 26-30.
- [4] Rajalakshmi, G., Gopal, A., Kumar, A., & Kumar, A. D. (2017). Identification of moisture, glucose, sucrose, fructose region in honey sample using NIR spectroscopy. 3rd International Conference on Sensing Signal Processing and Security. 4-5 May. Chennai, India
- [5] Lijuan, X., Xingqian, Y., Donghong, L., & Yibin, Y. (2009). Quantification of glucose, fructose and sucrose in bayberry juice by NIR and PLS. *Food Chem.*, 114, 1135-1140.
- [6] Lee, D. K., Kang, J. H., Lee, J. S., Kim, H. S., Kim, C., Kim, J., Lee, T., Son, J. H., & Seo, M. (2015). Highly sensitive and selective sugar detection by terahertz nanoantennas. *Sci. Rep.*, 5, 15459.
- [7] Alshami, A. S. (2007). Dielectric properties of Biological Materials: A Physical Chemical Approach. Ph.D. Thesis. College of Engineering and Architecture. Washington State University. USA.
- [8] Khalilian, H., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Naderi-Boldaji, M., & Rostami, S. (2017). Developing and testing of a cylindrical dielectric sensor for measuring sugar concentration of sugar beet syrup. *Iranian J. Biosyst. Eng.*, 48(1), 144-137. [In Persian]
- [9] Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghatreh-Samani, N., Naderi-Boldaji, M., Forina, M., & Bonyadian, M. (2017). Development of two dielectric sensors coupled with computational techniques for detecting milk adulteration. *Comput. Electron. Agric.*, 140, 266-278.
- [10] Naderi-Boldaji, M., Mishra, P., Ahmadpour-Samani, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghanbarian, D., & Izadi, Z. (2018). Potential of two dielectric spectroscopy techniques and chemometric analyses for detection of adulteration in grape syrup. *Meas.*, 127, 518-524.
- [11] Naderi-Boldaji, M., Mokhtari, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Tohidi, M. (2018). Feasibility study of using a cylindrical resonator sensor to detect fraud in sesame oil. *J. New Food Technol.*, 6, 409-420. [In Persian]
- [12] Naderi-Boldaji, M., Fazeliyan-Dehkordi, M., Mireei, S. A., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2015). Dielectric power spectroscopy as a potential technique for the nondestructive measurement of sugar concentration in sugarcane. *Biosyst. Eng.*, 140, 1-10.
- [13] Jackson, B., & Jayanthi, T. (2015). Determination of sucrose in raw sugarcane juice by microwave method. *Indian J. Sci. Technol.*, 7, 566-570.
- [14] Angkawisittpan, N., & Manasri, T. (2012). Determination of sugar content in sugar solutions using interdigital capacitor sensor. *Meas. Sci. Rev.*, 12, 8-13.
- [15] Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., Ahmadi, H., & Razavi, S. H. (2015). From simple classification methods to machine learning for the binary discrimination of beers using electronic nose data. *Eng. Agric. Environ. Food.*, 8, 44-51.
- [16] Hoog-Antonyuk, N. A., Olthuis, W., Mayer, M. J. J., Yntema, D., Miedema, H., & Van den Berg, A. (2012). On-line fingerprinting of fluids using coaxial stub resonator technology. *Sens. Actuators. B Chem.*, 163(1), 90-96.
- [17] Hoog, N.A. (2014). Stub resonators transmission line based water sensors. PhD Thesis. University of Twente. The Netherlands.
- [18] Guo, W., Fang, L., Liu, D., & Wang, Zh. (2015). Determination of soluble solids content & firmness of pears during ripening by using dielectric spectroscopy. *Comput. Electron. Agric.*, 117, 226-233.



*Research Article*

**Feasibility study on detecting different types of sugar solutions using a dielectric resonator sensor**

Farideh Keivani Hafshejani<sup>1</sup>, Mojtaba Naderi Boldaji<sup>2\*</sup>, Mehdi Ghasemi Varnamkhasti<sup>2</sup>, Zahra Izadi<sup>3</sup>

1. Graduated M.Sc. Student, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
2. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
3. Assistant Professor, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

**Abstract**

One of the most important ingredients of most foods is sugar, so it is important to detect the type of sugar in foods. In this study, a cylindrical dielectric resonator using a function generator and a spectrum analyzer was used to measure dielectric spectra in the range of 0-150 MHz to detect different sugars in water-sugar solutions. Dielectric spectra were investigated by preparing a variety of water-sugar solutions including glucose, sucrose, fructose, invert, high fructose corn syrup and malt extract (dominantly maltose sugar) in four brix levels ranged within 3-12. Moreover, samples were tested with mixing the sugars in a solution. The statistical method of principal component analysis (PCA) was evaluated for detecting and discriminating different types of sugars from dielectric spectral data. PCA with two principal components PC1 and PC2, showed a distinct separation of sugars in three visual groups of sucrose and high fructose corn syrup, fructose and invert and glucose and malt. Irrespective of glucose, the mixed sugar solutions were discriminated from single sugar solutions in two groups. The results of this study showed a promising potential of dielectric method for detecting different sugars, however, the cumulative dielectric effect of the mixed sugars was not discriminable which is expected to be detected with greater range of frequency.

**Keywords:** Sugar, Cylindrical sensor, Dielectric power spectroscopy.

---

\* Corresponding author: naderi.mojtaba@sku.ac.ir